



Mercredi 25 mars – session 3

Nouvelles missions, Nouvelles données, Nouveaux produits

Delphine Leroux – Direction de la Stratégie

Olivier Hagolle – Direction Technique & Numérique / CESBIO



Très courte introduction

- THEIA et Data Terra sont au cœur des priorités scientifiques du CNES, recommandation du TOSCA lors du SPS 2024
- Il n'y a jamais eu autant de satellites d'OT que maintenant !
- Des nouvelles missions et des nouveaux produits issus des travaux des CES et de la communauté que le CNES soutient depuis le début, avec des missions en cours de développement qu'il convient de préparer

REPUBLIQUE FRANÇAISE | CNES | SÉMINAIRE DE PROSPECTIVE SCIENTIFIQUE | 08 AU 10 OCTOBRE 2024 | SAINT-MALO | www.sps2024.com

Les recommandations du TOSCA

Les données

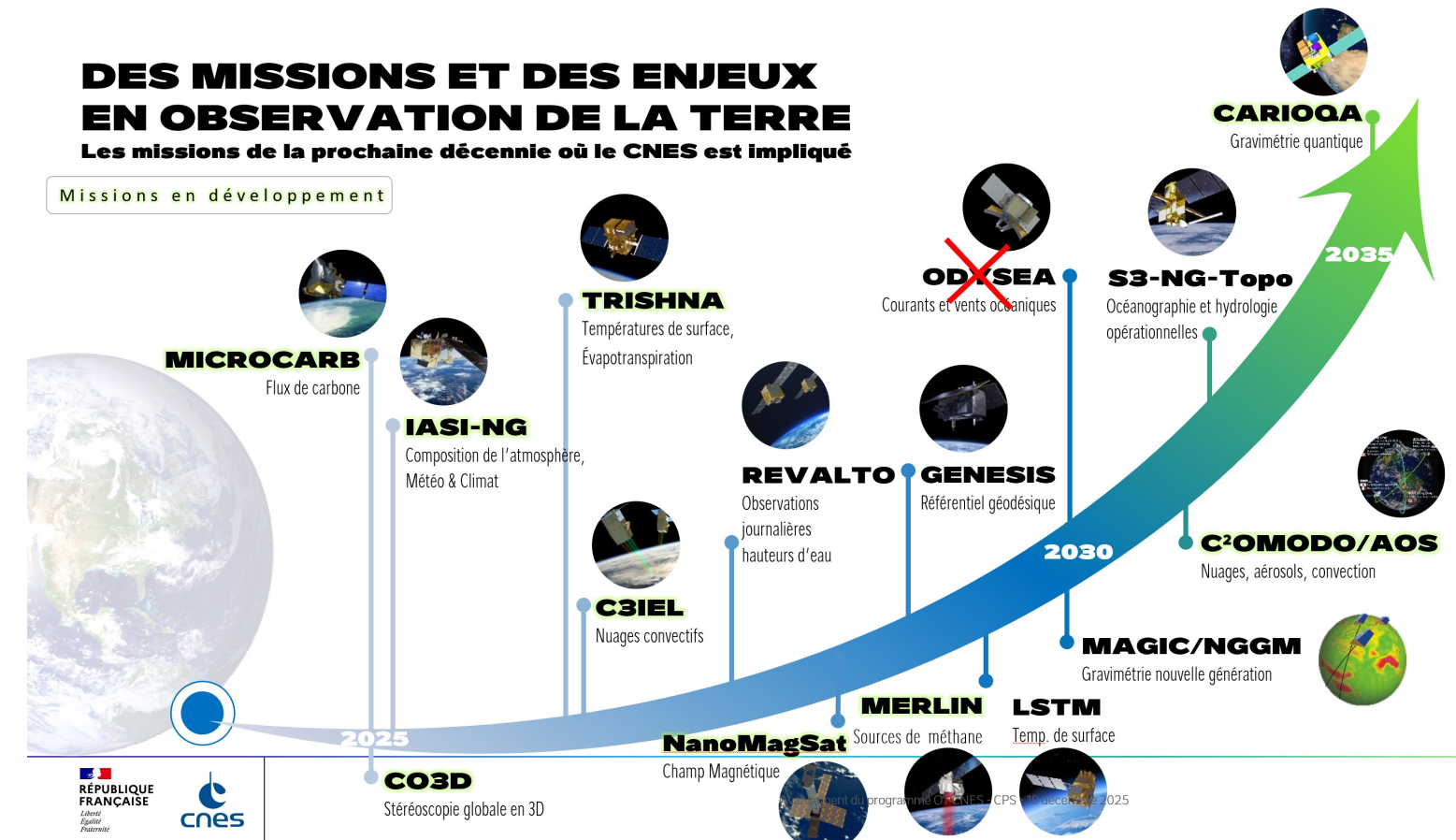
Plateformes HPC/Cloud et pôles de données

- La quantité de données spatiales disponibles va considérablement augmenter.

L'exploitation de ces données nécessitera un accès facilité aux données avec outils et moyens de calcul (HPC) adaptés aux traitements massifs, l'assimilation et l'utilisation de l'intelligence artificielle.

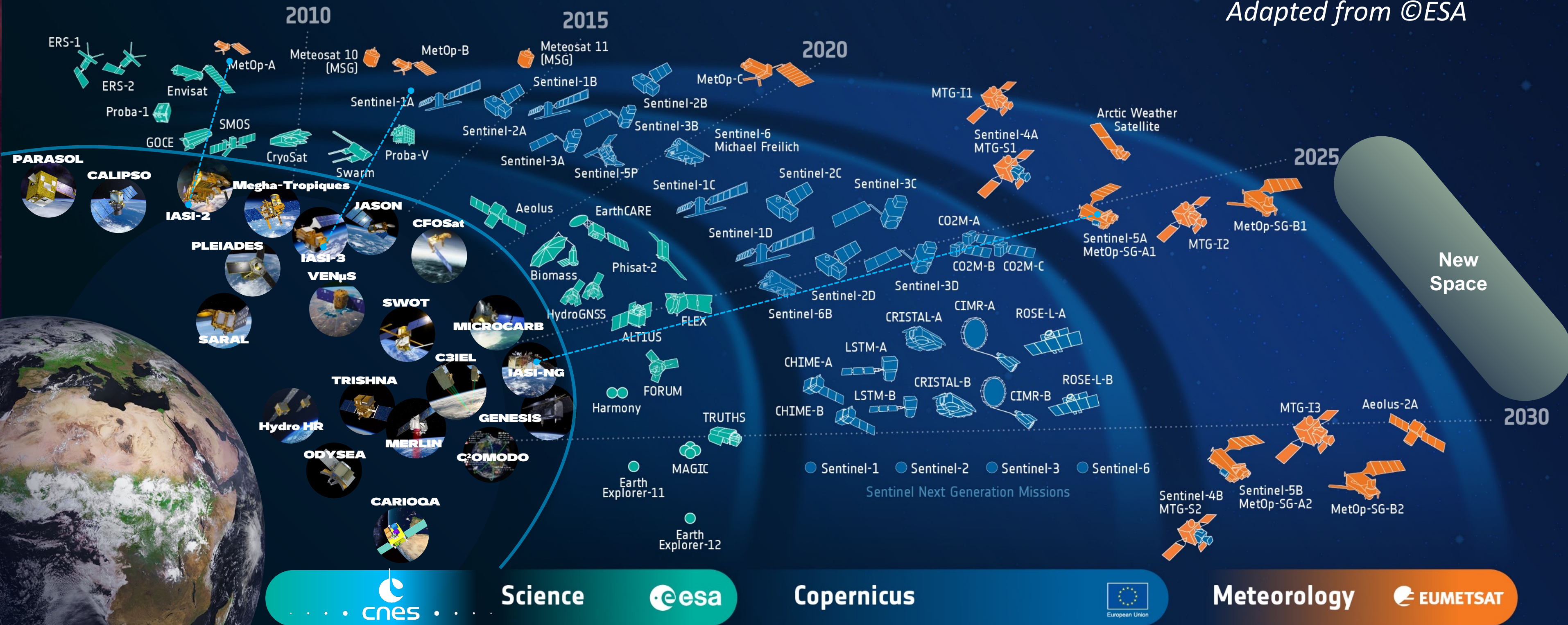
Data Terra et les pôles de données: Des avancées majeures et un rôle essentiel pour la communauté. Position unique au carrefour entre la science et les services et des plates-formes européennes.

Renforcement de Data Terra et articulation avec les plates-formes européennes



Earth observation in Europe – Context

Adapted from ©ESA








CNES & multilateral missions
ESA missions Earth Explorers
European Operational missions Copernicus / Sentinels
Operational missions Weather & Climate

25, 26 & 27 mars 2026
Villefranche-sur-mer

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE THEIA



Missions du CNES (ou avec contribution CNES)

SMOS – ESA Earth Explorer 2 – 2 novembre 2009

Radiomètre interféromètre en bande L pour la mesure de l'humidité des sols et la salinité des océans

- Températures de brillance multi-angulaires (inédites) à résolution $\sim 50\text{km}$, fauchée de 1000 km, revisite tous les 3 jours à l'échelle globale, polarisations HV
- Mesure de l'humidité des sols (soil moisture – SM) et la teneur en eau des végétaux (vegetation optical depth – VOD)

Produits ESA

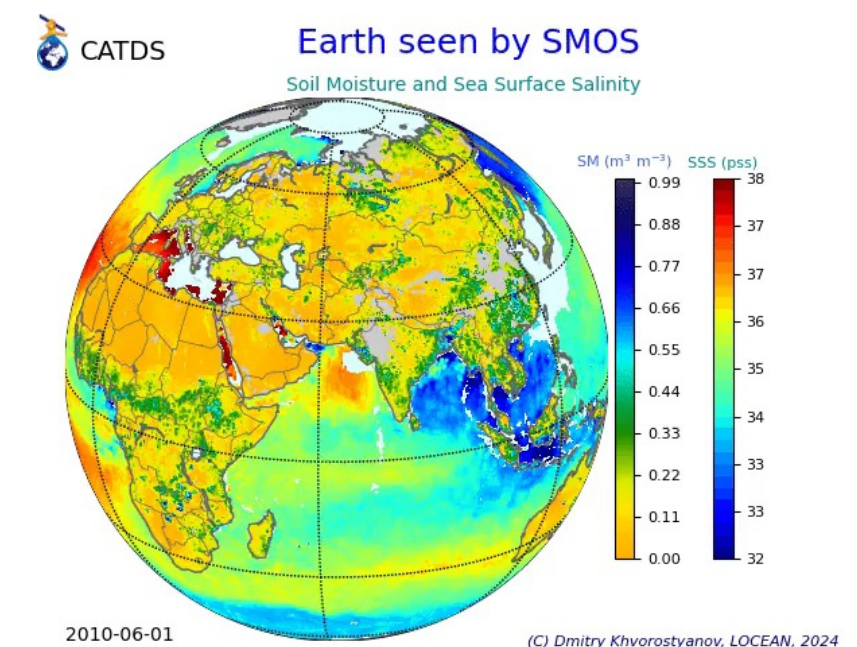
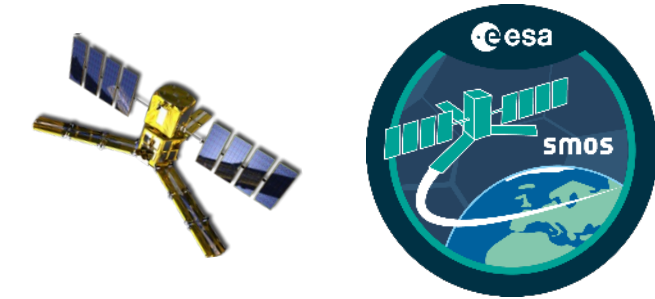
- Produit L1 : TB (L1a, L1b, L1c)
- Produit L2 : SM

Produits issus du CATDS

- Produits L3 : SMOS-IC soil moisture,...
- Produit L4 : PrISM (Precipitation Inferred from Soil Moisture), SMOS-SMAP merged TB, surface roughness map, SM from AMSR-E/SMOS synergy using NN, AGB –Above Ground Biomass), agricultural drought index, RZSM (Root Zone SM)

Des produits encore et toujours plus utilisés !

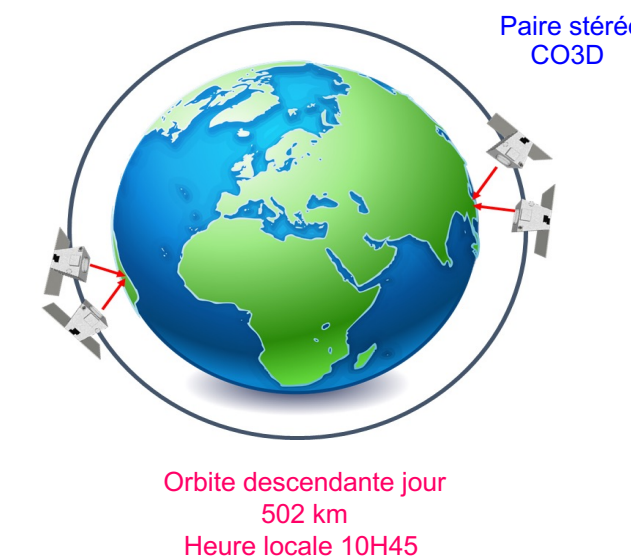
- Plus de 3000 publications scientifiques sur l'humidité, la végétation, le carbone, la cryosphère, les précipitations, l'océanographie, et bien d'autres !
- Données sont assimilées dans l'IFS d'ECMWF afin d'améliorer les prévisions sur les surfaces continentales depuis 2019 (T2m et R 1000 hPa à 2 jours et 3 jours)
- Mission étendue à 2028



CO3D – mission duale CNES/Airbus – 25 juillet 2025

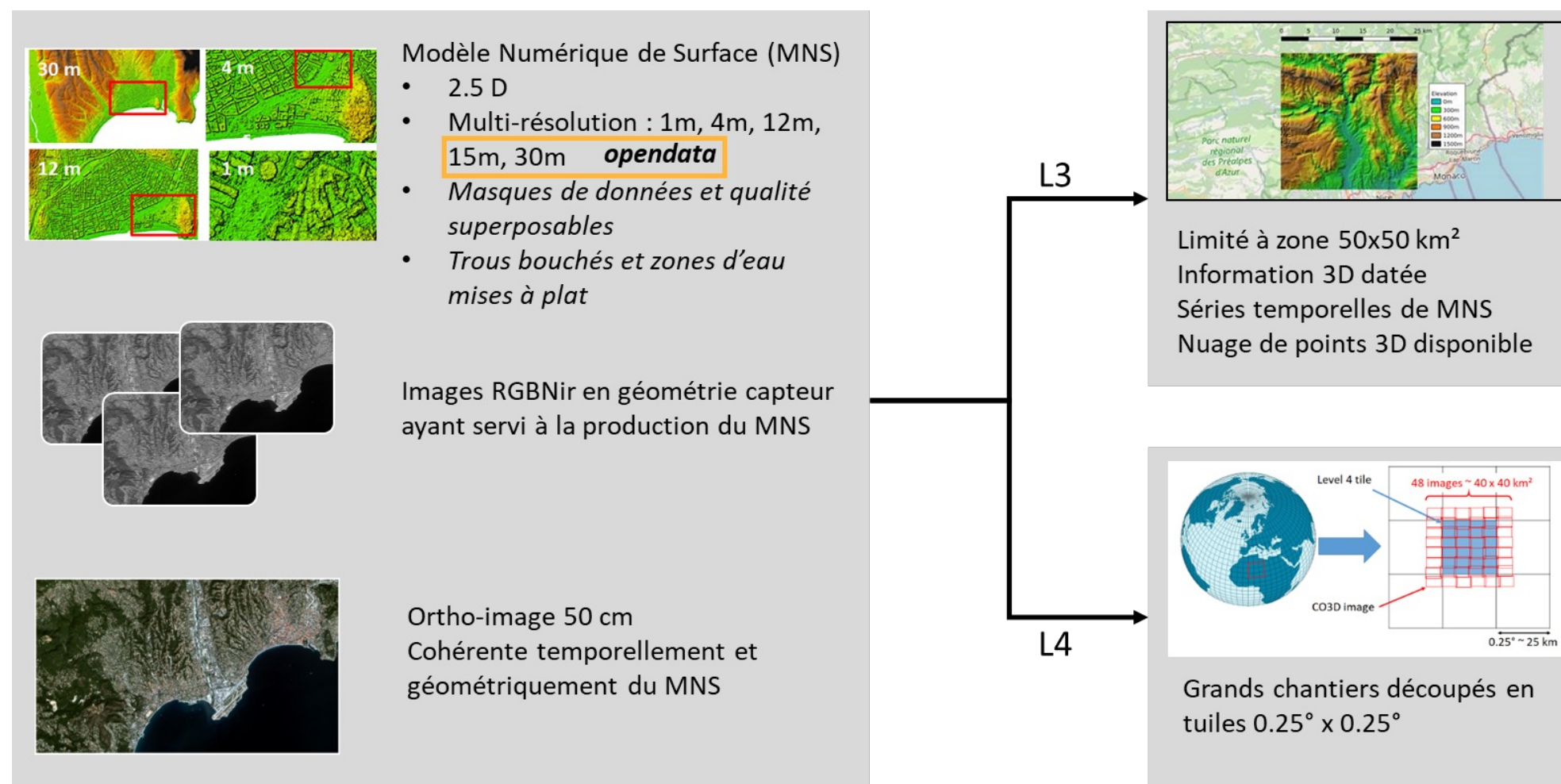
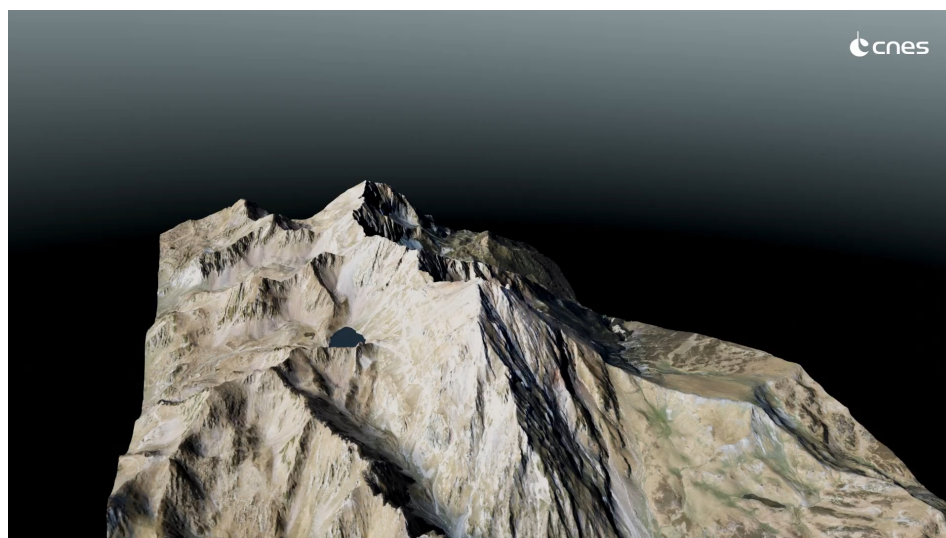
4 capteurs optiques RGB+NIR pour un MNS à l'échelle mondiale à 1 m de résolution

- 2 paires de satellites pour des observations stéréo synchrones à 50 cm
- Couverture mondiale entre -60° et +70°
- Traitements automatiques dans le Cloud pour diminuer les coûts
- Quotas de programmation/archives pour les scientifiques et institutionnels français
- Accès via DINAMIS (idem que pour Pléiades et PNEO)
- Objectif : MNS à l'échelle mondiale à 1m de résolution, précision 1m relatif, 4m en absolu



Actualités

- Opérations réussies de mise à poste des 4 satellites
- Calibrations et refocalisations réussies
- Premières acquisitions d'images et premiers MNS



SWOT – mission CNES/NASA-JPL/CSA/UKSA – 16 décembre 2022

Premier altimètre à large fauchée pour une mesure de la hauteur d'eau à l'échelle globale

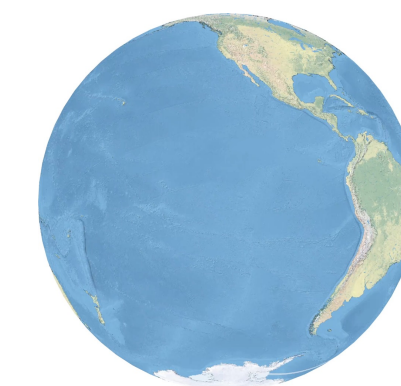
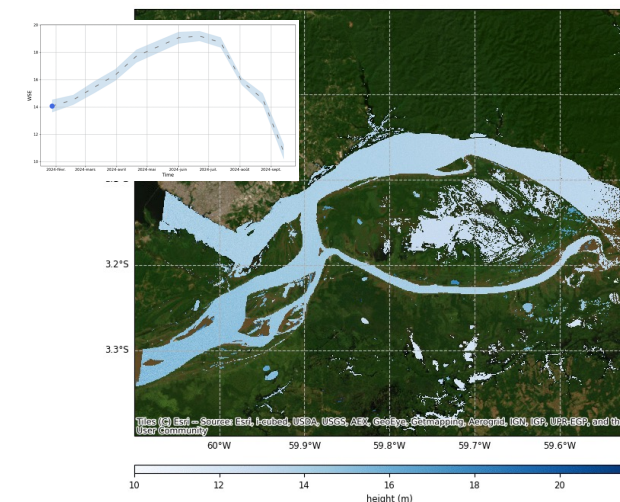
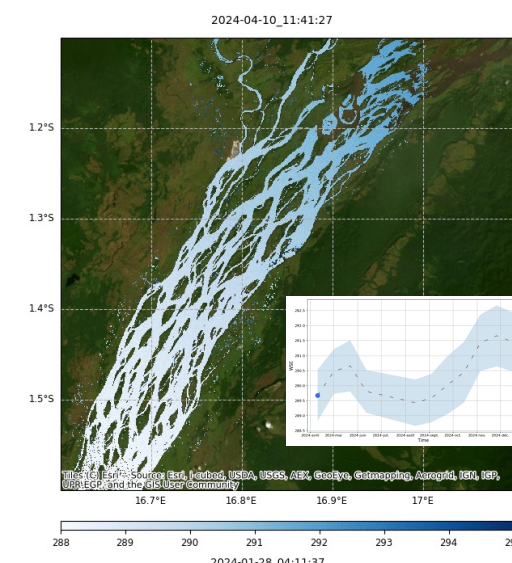
- Mesures inédites à une précision de 10 cm sur les rivières > 100m et les lacs > (250 m)²
- Cycle de 21 jours avec une fauchée de 2x60 km + nadir
- Carte globale des hauteurs d'eau, de leur dynamique (2 ans de données), des pentes et des largeurs de rivières et des lacs

Produits disponibles sur hydroweb.next (16 en ligne, 7 en cours de préparation)

- Produits L2 : hauteurs, largeurs, pentes de rivières ; hauteurs, estimation des volumes de lacs ; nodes/reaches/raster/PIXC
- Produit L4 : débits (depuis janvier 2026 !)
- Produits annexes : PLDB (lacs), SWORD (rivières), masques diverses, etc.
- Travaux en cours sur des produits à valeur ajoutée (côtier, humidité des sols, MNT, etc.)

Actualités

- Revue d'extension de mission en cours côté CNES et NASA pour étendre jusqu'en 2029



REVALTO – mission BWI – France2030/CNES – en cours de développement

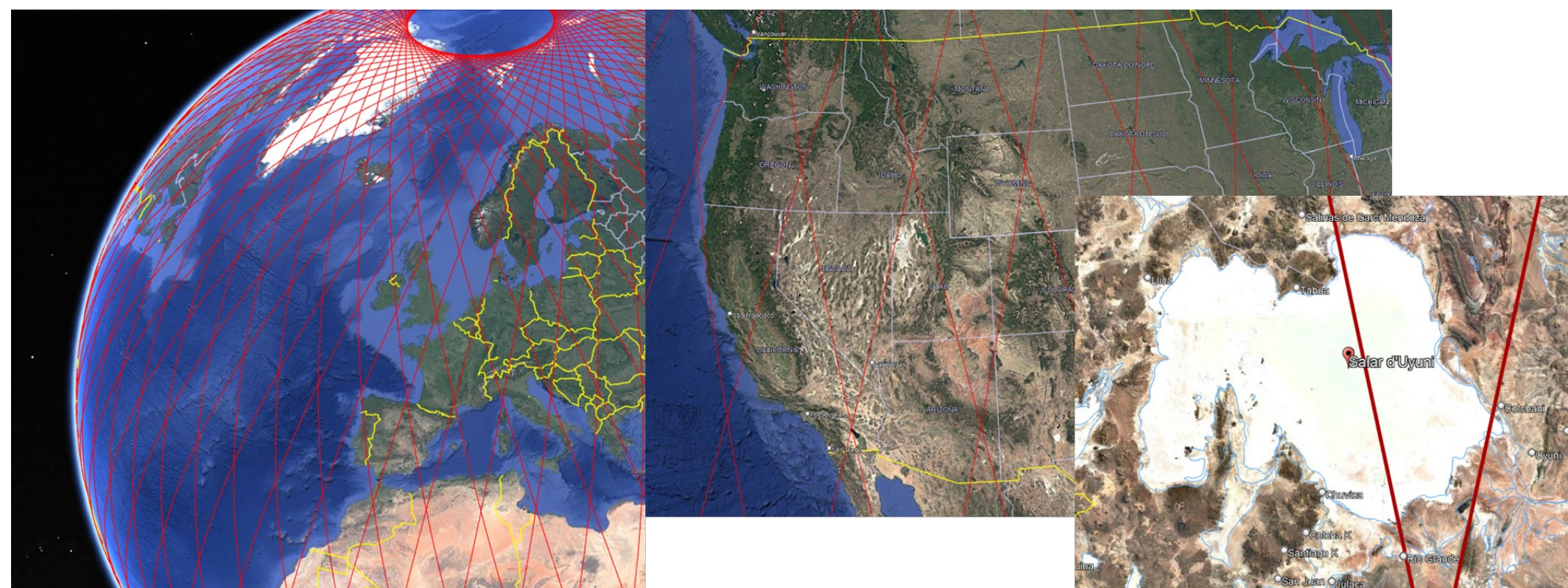
Première constellation de petits altimètres nadir pour une mesure journalière de la hauteur d'eau

- 2 altimètres pour démonstration, revisite à 2 jours, 6h/18h, +/-81°
- Spécification : précision de 10 cm sur les rivières > 50 m et lacs > (100m)²
- Tir prévu à T0+3 ans (fin 2028)
- Données gratuites et distribuées à la communauté scientifique via hydroweb.next



Actualités

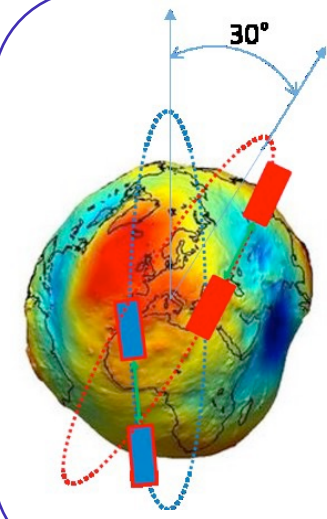
- Jalon de GO/NOGO en septembre 2026 afin de valider le concept instrumental



NGGM/MAGIC – mission ESA/NASA – en cours de développement

Mission de gravimétrie opérationnelle pour une mesure plus précise et plus résolue

- Démarrage du contrat SAGSA (Service d'Activités en Gravimétrie Spatiale et Application) en janvier 2025 avec Magellium pour :
 - Produits gravimétriques en exploitant la mission GRACE-FO
 - Démonstration d'une capacité opérationnelle dans la perspective NGGM/MAGIC
- Phase B-1 industrielle
- Produits Hydrologie déjà disponibles dans hydroweb.next



P1 : Contribution NASA

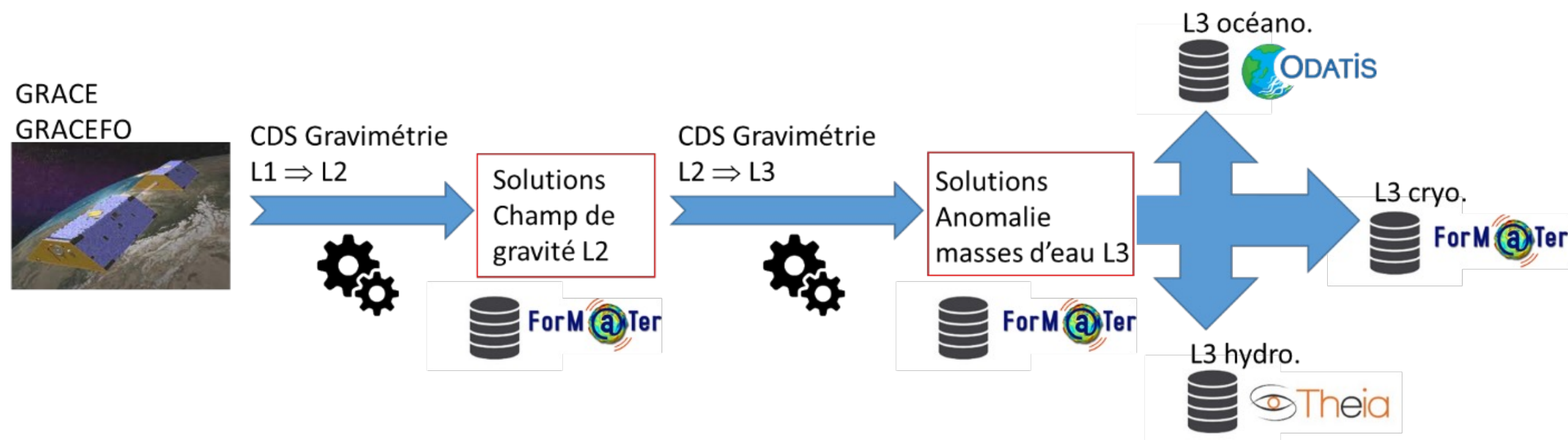
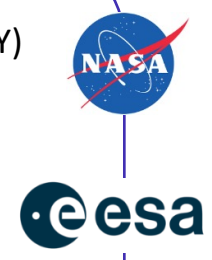
- GRACE-C (CONTINUITY)
- Lancement 2028

P2 : Contribution ESA

- NGGM
- Lancement 2032

✓ Enjeu scientifique : mesure du champ de gravité variable

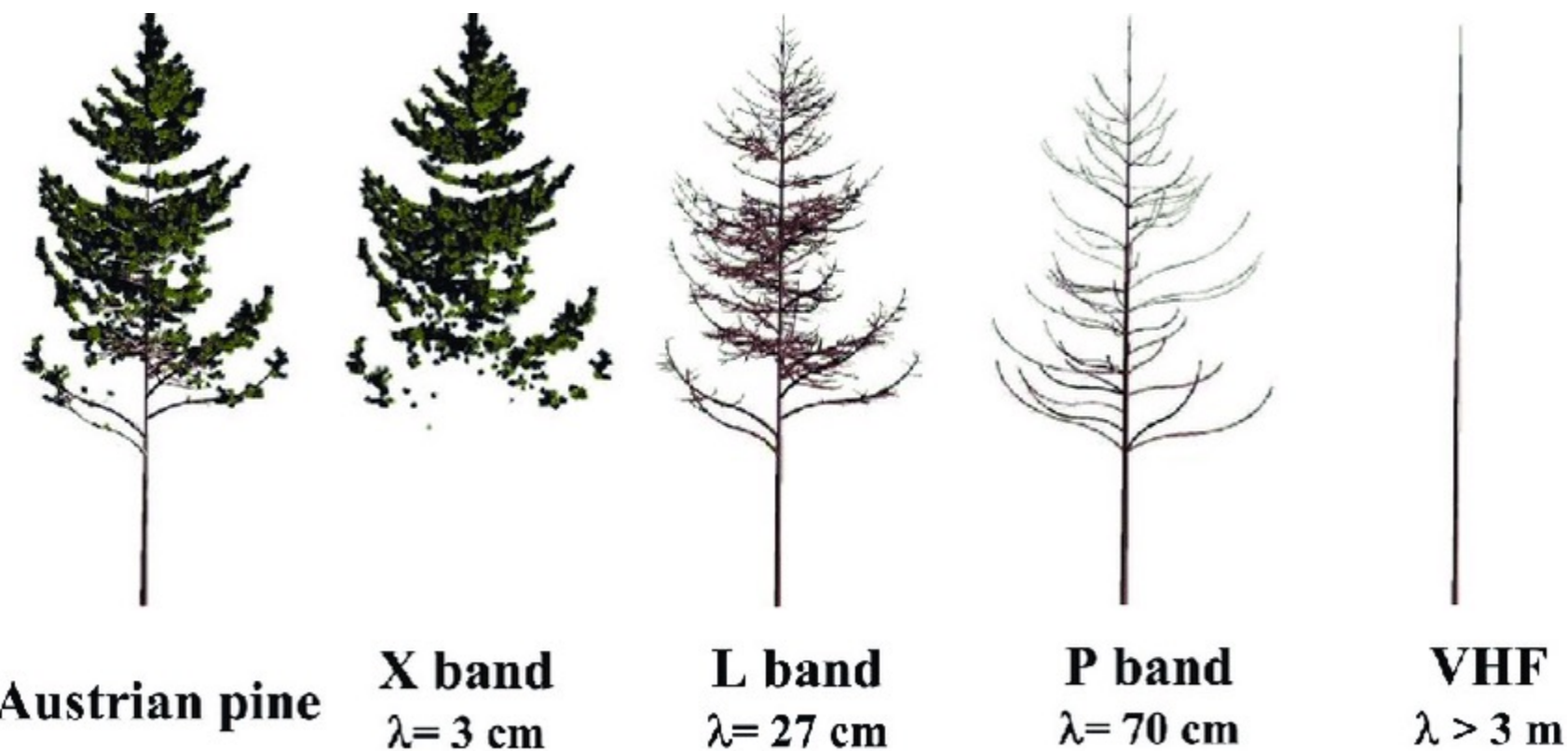
✓ Au minimum 4 ans de mission commune



La mission ESA Earth-Explorer BIOMASS

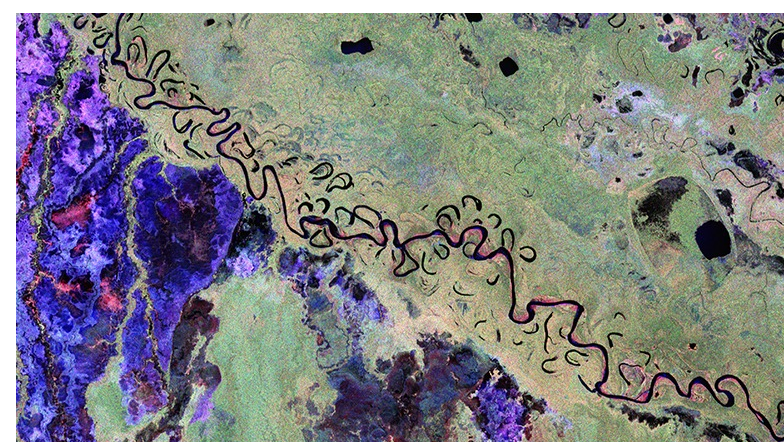
Radar en bande P pour la mesure de la biomasse forestière tropical

- Mesures interdites en Europe et Amérique du Nord
- Mesure de la biomasse avec différents modes
 - Mode Tomographique (7 observations en quelques jours)
 - Evaluation globale de la biomasse tropicale
 - Mode interférométrique
 - Tous les 7 mois, 3 observations pour observer l'évolution



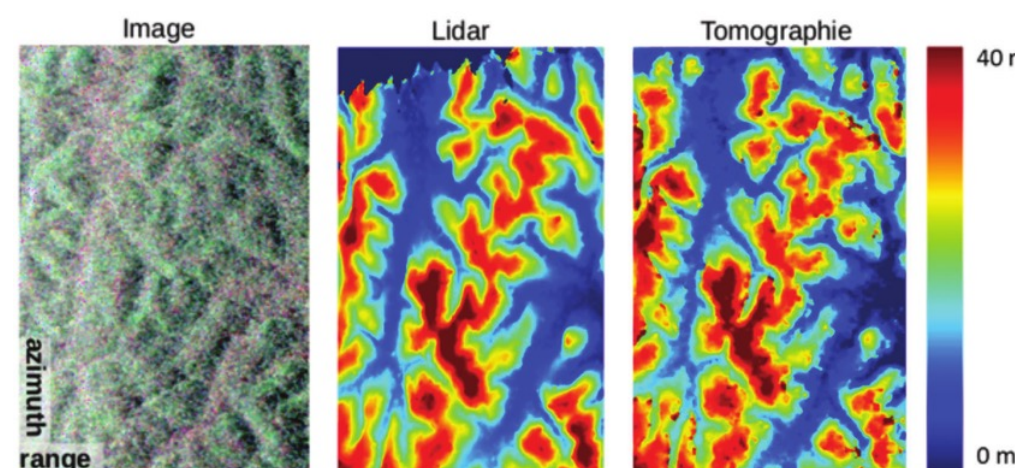
Produits ESA

- Produit L2A : par trace d'orbite, Déforestation, hauteur
 - Annulation d'écho de sol, cubes tomographiques,
- Produit L2B : déforestation, MNT, hauteur, biomasse par cycle (200m)
- Produit L3 : produit consolidé, intégrant des contraintes géophysiques



Futurs produits THEIA ?

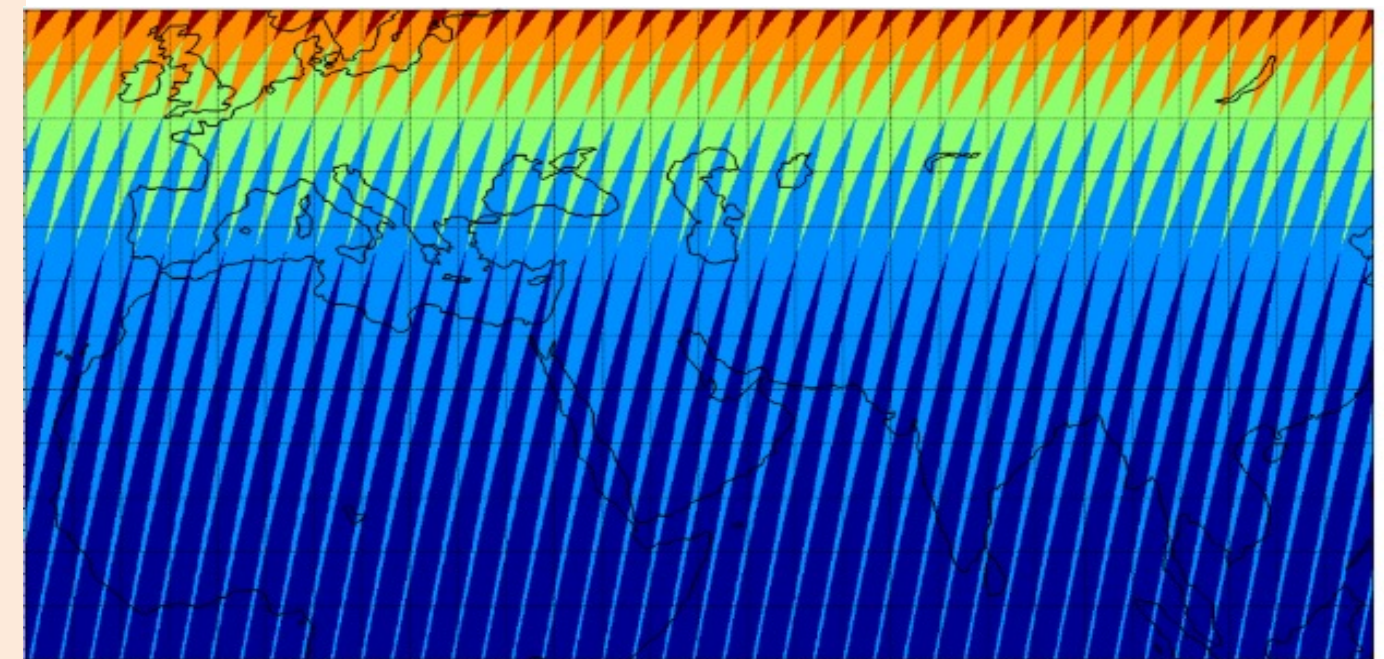
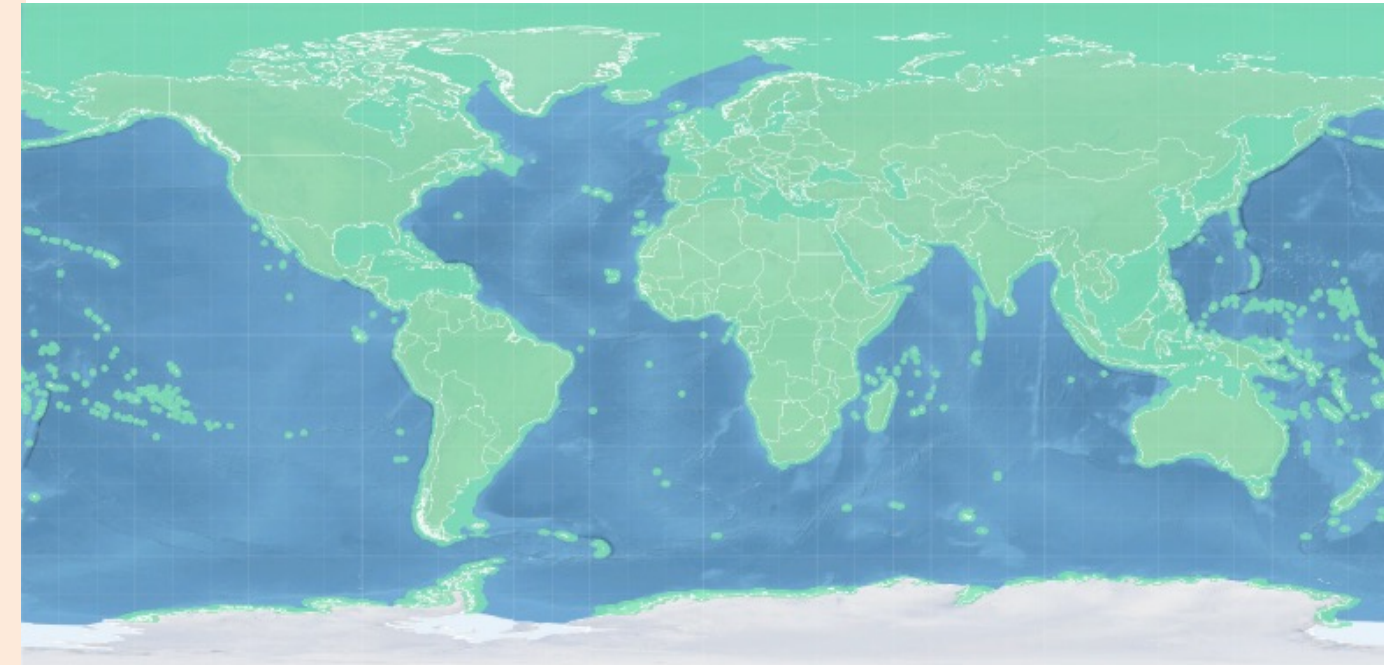
- MNT sous forêt à haute résolution (30 m)
- Produit de biomasse avec méthode alternative



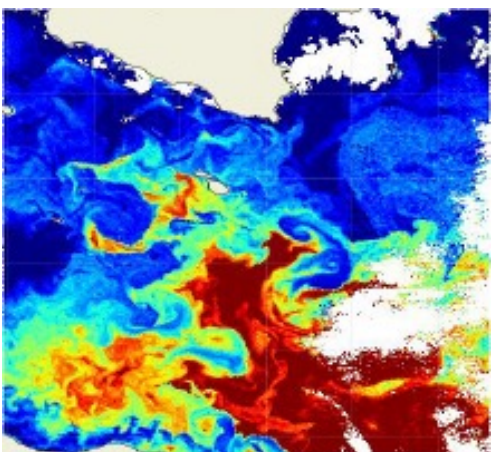
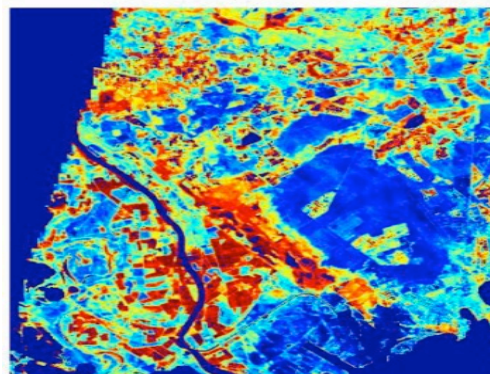
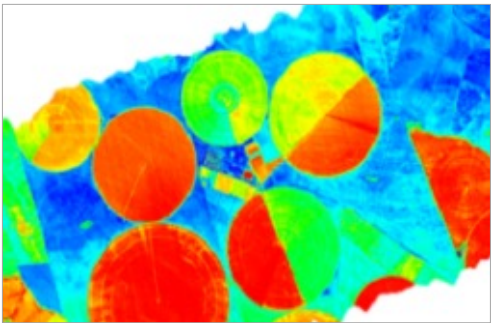
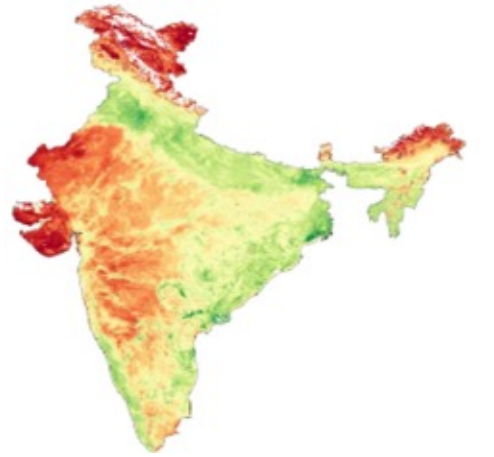
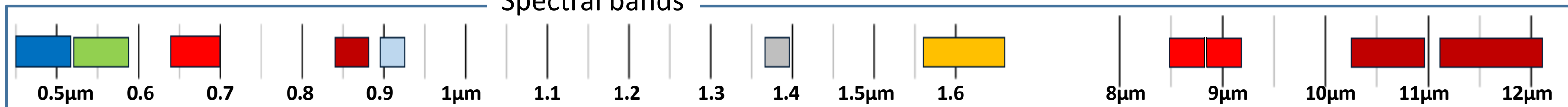
BIOMASS	
Date de Lancement	29 Avril 2025
Revisite	7 mois
Resolution (m ²)	50 => 200 m
Fauchée (km)	140
Bandes	Bande P (~70 cm) Full-pol, Interférométrie et Tomographie

La mission TRISHNA – CNES/ISRO – en cours de développement

- Lancement 2027
- Durée de vie 5 ans
- Missions principales : stress des écosystèmes, eaux côtières
- Revisite 3 jours (2 jours en Europe)
- Résolution 60 (nadir) à 90 m
- Champ de vue : 1000 km, 38° de champ
- 3 angles de vue tous les 8 jours (>4 en Europe)
- 12:30 (et 0:30) à l'équateur, 12:30 PM & AM at Equator
- VNIR-SWIR (7 bands) – LWIR (4 bands)
- NeDT 0.2K at instrument output, AKA 0.5K
- **Données libres et gratuites**, partagées entre Inde et France
- Produits :
 - L1C : TOA réflectances et températures de brillance
 - L2A : Réflectance de surface et température de surface
 - L2B : Evapo-transpiration (et albedo, rayonnement, LAI)
 - L3B : Evapo-transpiration quotidienne (interpolée)



Spectral bands



25, 26 & 27 mars 2026
Villefranche-sur-mer

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE THEIA



Copernicus

TRISHNA et LSTM

LSTM est la mission opérationnelle IRT du prog. Copernicus Expansion

- 2 satellites pour une revisite à 2 jours
- Angles constants (comme Sentinel-2), problèmes potentiels avec le hot-spot
- Résolution à 47 m au nadir, mais fournie à 50 m
- Les bandes VNIR et TIR sont acquises simultanément par le même instrument

Produits ESA :

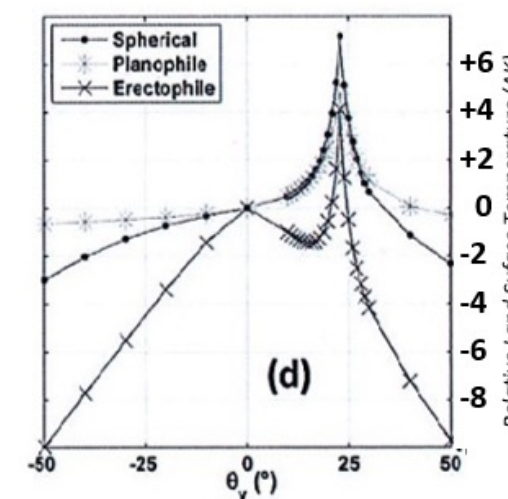
- L1C et L2A comme Sentinel-2
- Pour l'instant, pas de produit L2B pour l'évapo-transpiration

Données bien adaptées au suivi des terres émergées (mieux que Sentinel-3)

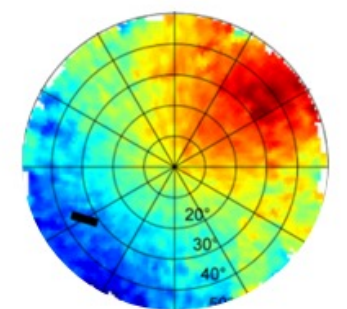
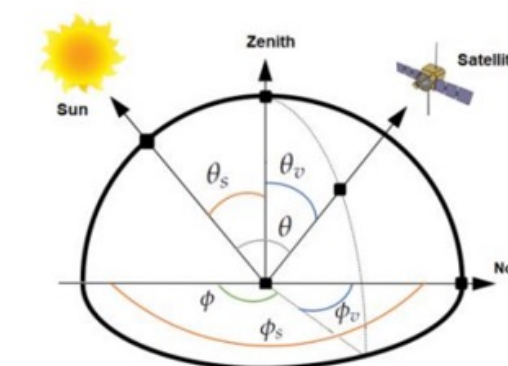
Centre de traitement multi-missions (TRISHNA-LSTM-Sentinel-2)

- Proposition au CNES en cours d'élaboration
- Centre d'incubation de chaînes multi-missions pour
 - Traiter les données sur une longue période (TRISHNA/LSTM)
 - Homogénéiser les produits (Etalonnage/Validation/Homogénéisation)
 - Améliorer la revisite pendant la période commune
 - Améliorer la résolution en fusionnant avec Sentinel-2
 - => **Les chaînes seraient ensuite exploitées par THEIA**

	TRISHNA	LSTM
Date de Lancement	2027	2029-2031
Revisite	3 jours (2 en Europe)	2 jours
Angles	3/8j (4 en Europe)	1 (parfois 2)
Resolution (m ²)	57 à 90 m => 60 m	37 à 50 m => 50 m
Fauchée (km)	1000 (38°)	700 (30°)
Bandes	11 dont 4 IRT	11 dont 5 IRT
Sensibilité	0.2 °K	0.1 °K



SCOPE Model (Duffour et al., 2015)

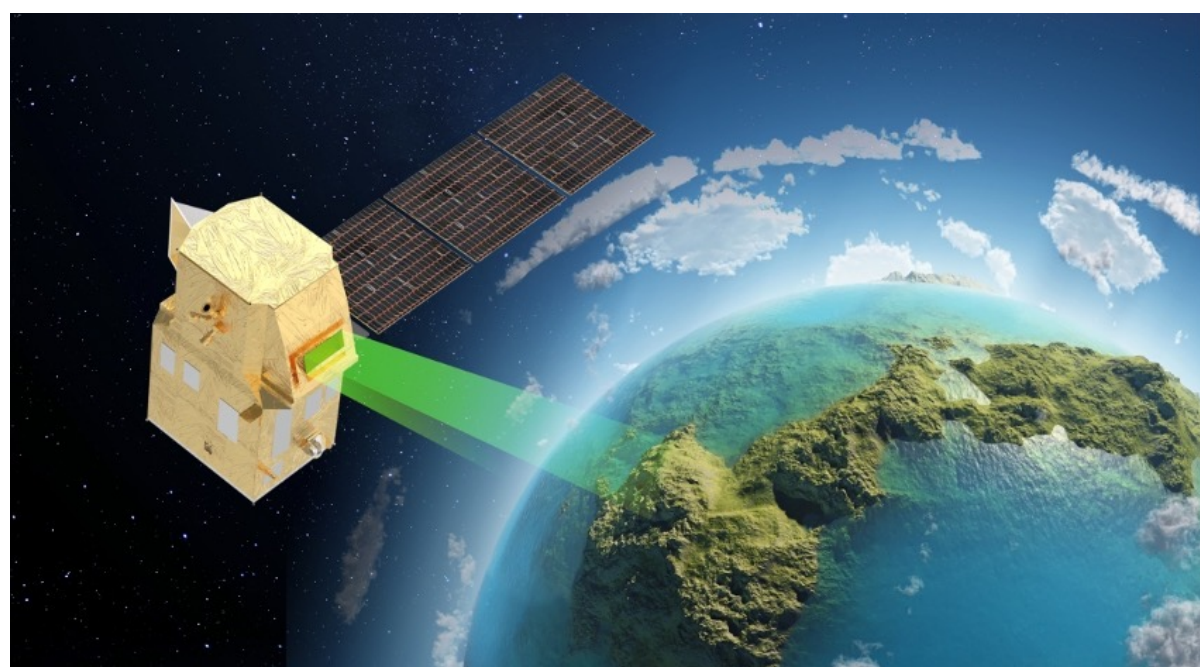


Measurements over Maritime pin

Les autres missions Sentinel-Expansion pour les surfaces continentales : CHIME et ROSE-L

- **CHIME : Mission optique hyperspectrale**
 - Grande qualité du signal
 - Préparation de produits conjoints avec S2
 - Fusion pour améliorer la revisite et la résolution
 - Pour la première fois dans Copernicus, produits 2B
 - Variable biophysiques de la végétation et du sol (carbone, argile)
 - Produits en géologie
- **ROSE-L : Radar en bande L**
 - RADAR en bande-L, sur la même orbite que Sentinel-1
 - Meilleure sensibilité à la biomasse et à l'humidité des sols qu'en bande C

	CHIME	ROSE-L
Date de Lancement	2029-2031	2029-2031
Revisite	11 jours (~8 en France)	6 jours global !
Resolution (m ²)	30 m	10*5
Fauchée (km)	130	260
Bandes	Des tas (espacement de 8.4 nm)	Full (capacité) Dual (opérationnel)



La nouvelle génération des satellites Sentinel-1

- Toujours en bande C
- Forte contrainte de continuité avec S1
 - S1, S1-NG et ROSE-L sont « considérés comme un système »
 - La nouvelle génération conservera l'orbite de S1
- Forte amélioration de la revisite
 - Champ beaucoup plus large
 - Augmentation de la durée de fonctionnement par orbite
- Amélioration de la sensibilité et réduction du bruit
- Possibilité d'ajouter des « satellites compagnons »
 - pour de l'interférométrie instantanée,
 - pour du bi-statique (S1-NG émet, le compagnon reçoit)
 - Dual POL en nominal, possibilité de faire du quad pol

	S1	S1-NG
Date de Lancement	2014-2016	2034-2036
Revisite	2 fois/6j en Europe, jusqu'à 12 jours ailleurs	3 jours global !
Resolution (m ²)	20*5	5*5
Fauchée (km)	250	400
Polarisation	Dual	Full (capacité) Dual (opérationnel)
Fonctionnement	43 à 53 mn/orbite	25 min par orbite
Sensibilité	-22 dB	-26 db



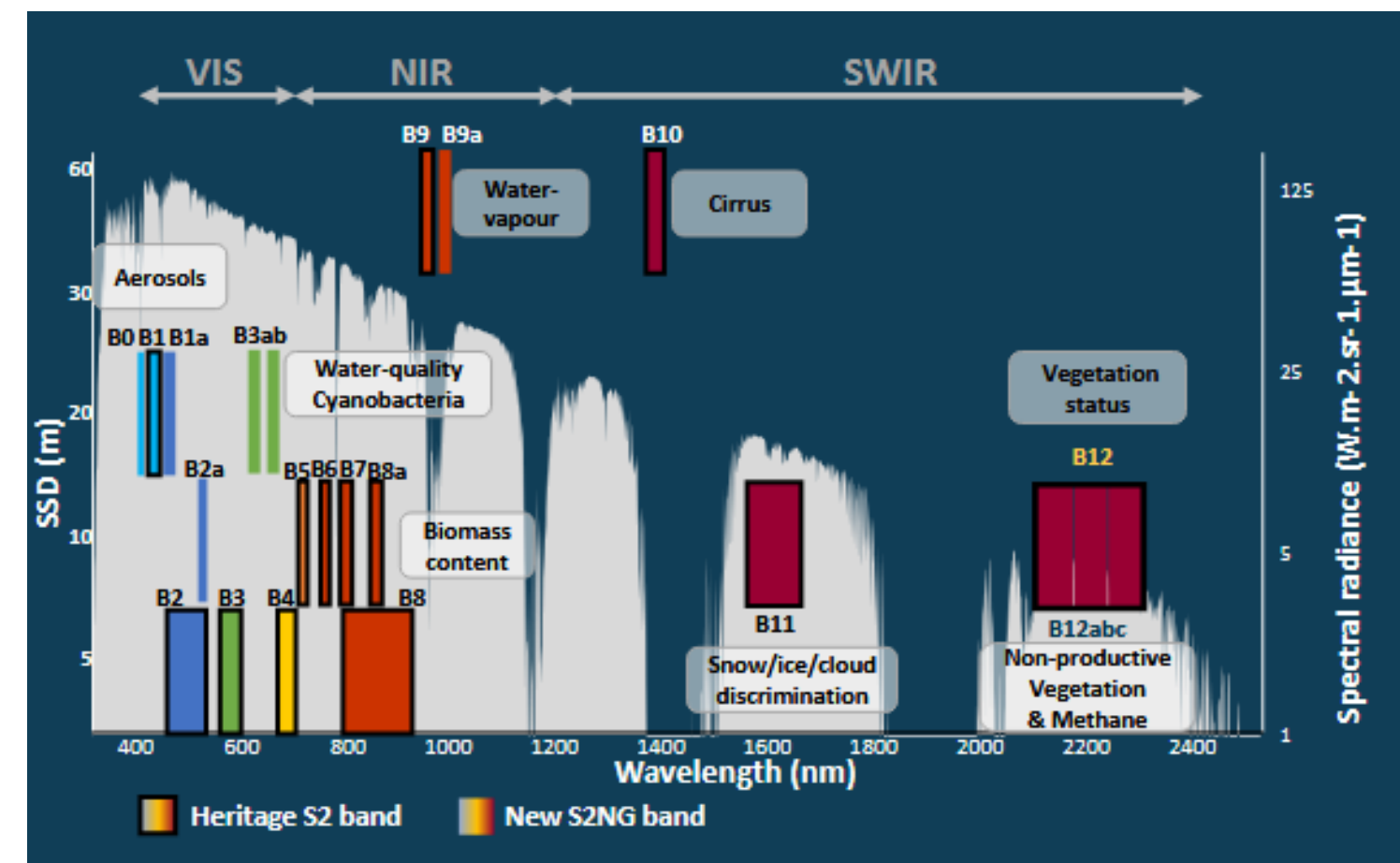
La nouvelle génération des satellites Sentinel-2

- « continuité améliorée »
 - Mais orbite différente pour améliorer la résolution
- La revisite reste à 5 jours
 - Il reste une option pour un 3^e satellite => 3 jours
 - (peu probable)
- Priorité à la résolution et aux bandes spectrales
 - Les eaux côtières et intérieures traitées à égalité avec les surfaces continentales
- Ajout de bandes en couleur de l'eau, et cyanobactéries
- Une bande pour mesurer pigments de la végétation, et décomposition en 3 de la bande 12 (2.2 µm)
 - Végétation sèche, Méthane
- Les performances restent du même ordre malgré le gain d'un facteur 2 en résolution.

La nouvelle génération des satellites Sentinel-3

- 📁 27 bandes (AOLCI) et jusqu'à 150 m en résolution
- 📁 LSTM reste plus adapté pour le suivi des terres

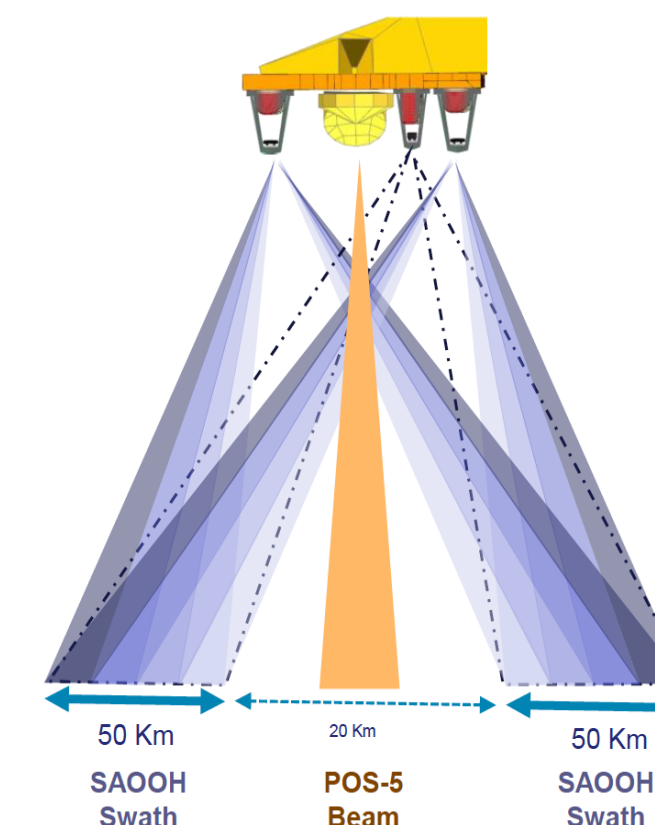
	S2	S2-NG
Date de Lancement	2015-2017	2034-2036
Revisite	5 jours	5 jours 3 jours si 3 satellites
Resolution (m ²)	10 à 20 m	5 à 10 m
Fauchée (km)	300 km	270
Bandes spectrales	13	21
SNR	~ 200 à L2	~200 à L2



S3NG-T – Copernicus – en cours de développement

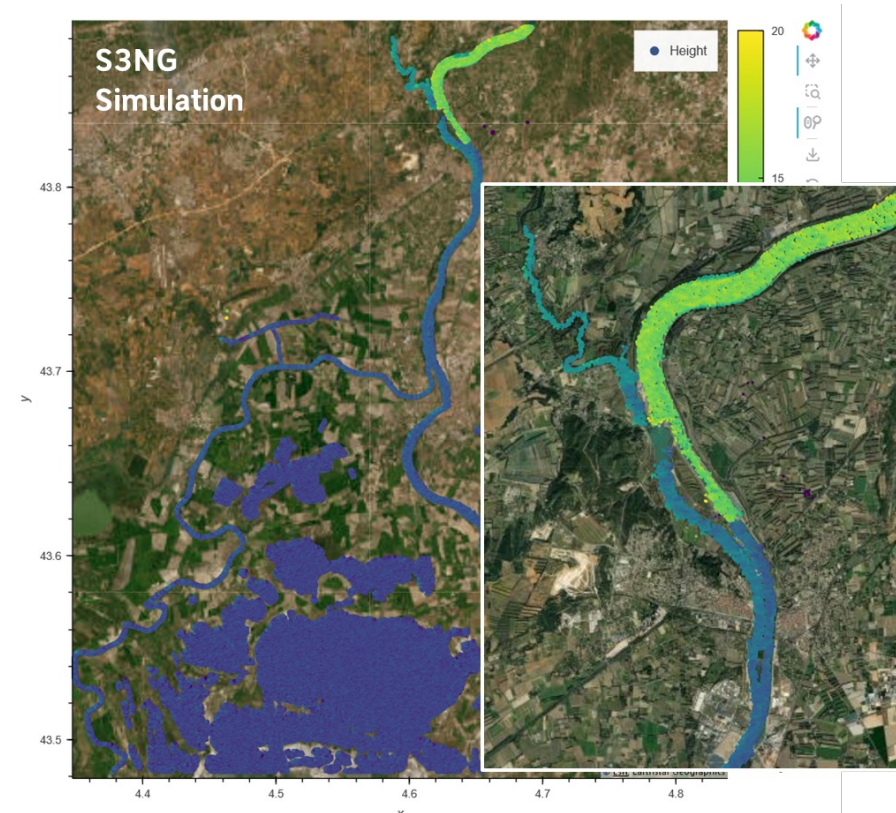
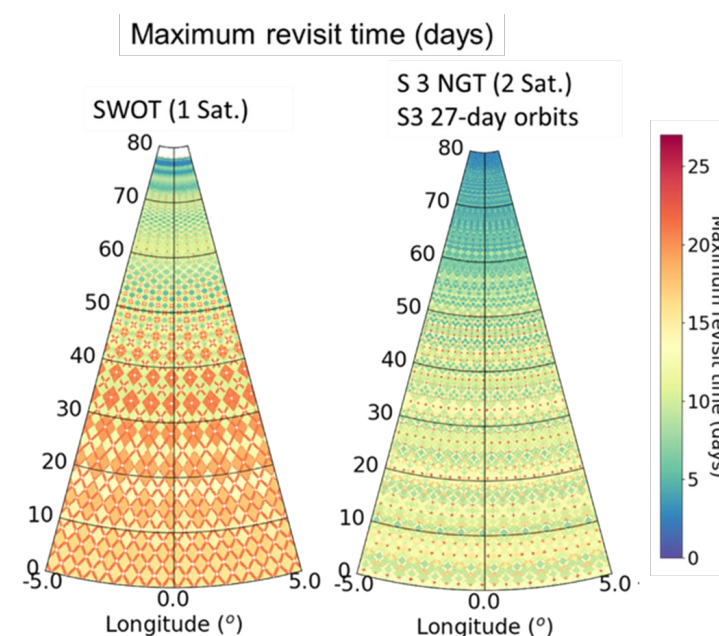
Mission d'altimétrie à large fauchée pour une mesure opérationnelle de la hauteur d'eau

- 2 satellites pour une revisite à 5 jours, précision autour de 10cm pour les rivières > 100 m, et les lacs > (250m)²
- Passage à 6h en descendant, couverture +/-81.5°
- Fort héritage de SWOT avec l'adoption de la large fauchée (mais avec des instruments différents)
- 1 altimètre nadir (Poseidon-5 bande Ku/C) + 1 altimètre à large fauchée (SAOOH bande Ka, TAS)
- Lancement prévu ~2035

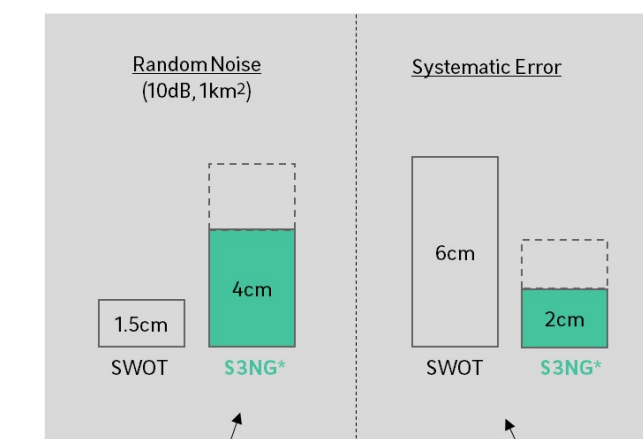


Actualités

- Phase B1 en cours, ITT prime satellite à venir pour phase B2/C/D avec KO mi-2026
- Simulations pour l'hydrologie en cours de consolidation
 - Bruit + important que SWOT
 - Erreur systématique – élevée que SWOT
 - Incertitude ~10cm RMS



Total Uncertainty = 10cm RMS
Performance équivalente à SWOT au km²



Bruit PIXC plus élevé

Erreurs syst plus faibles

S3NG* = en cours de consolidation

25, 26 & 27 mars 2026
Villefranche-sur-mer

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE THEIA



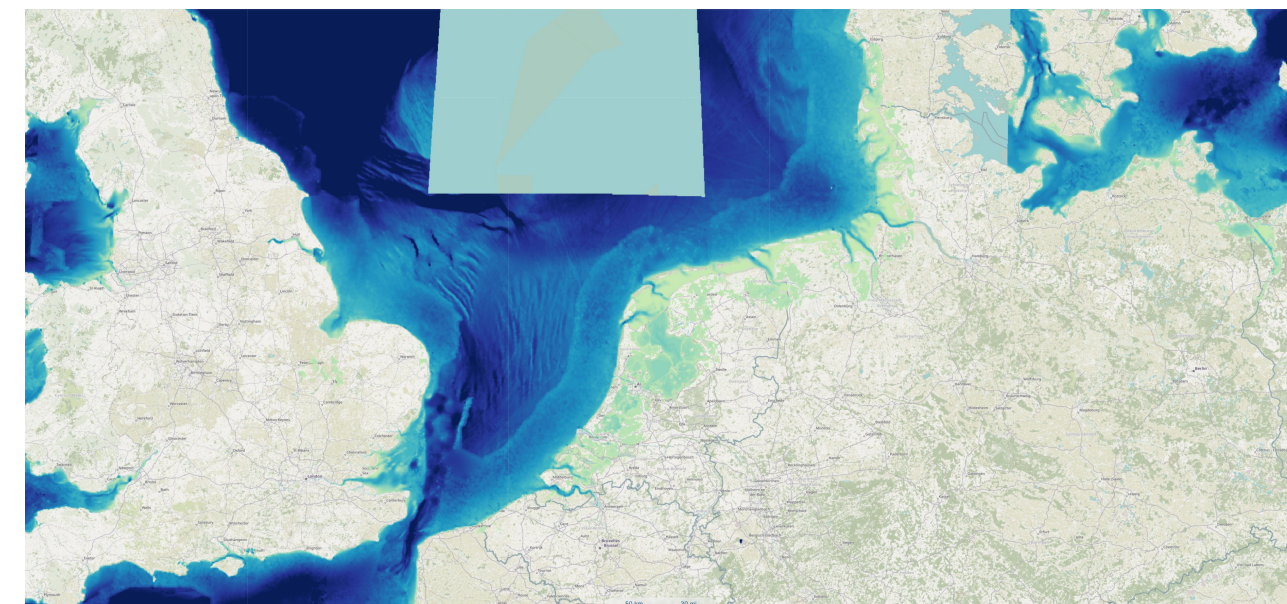
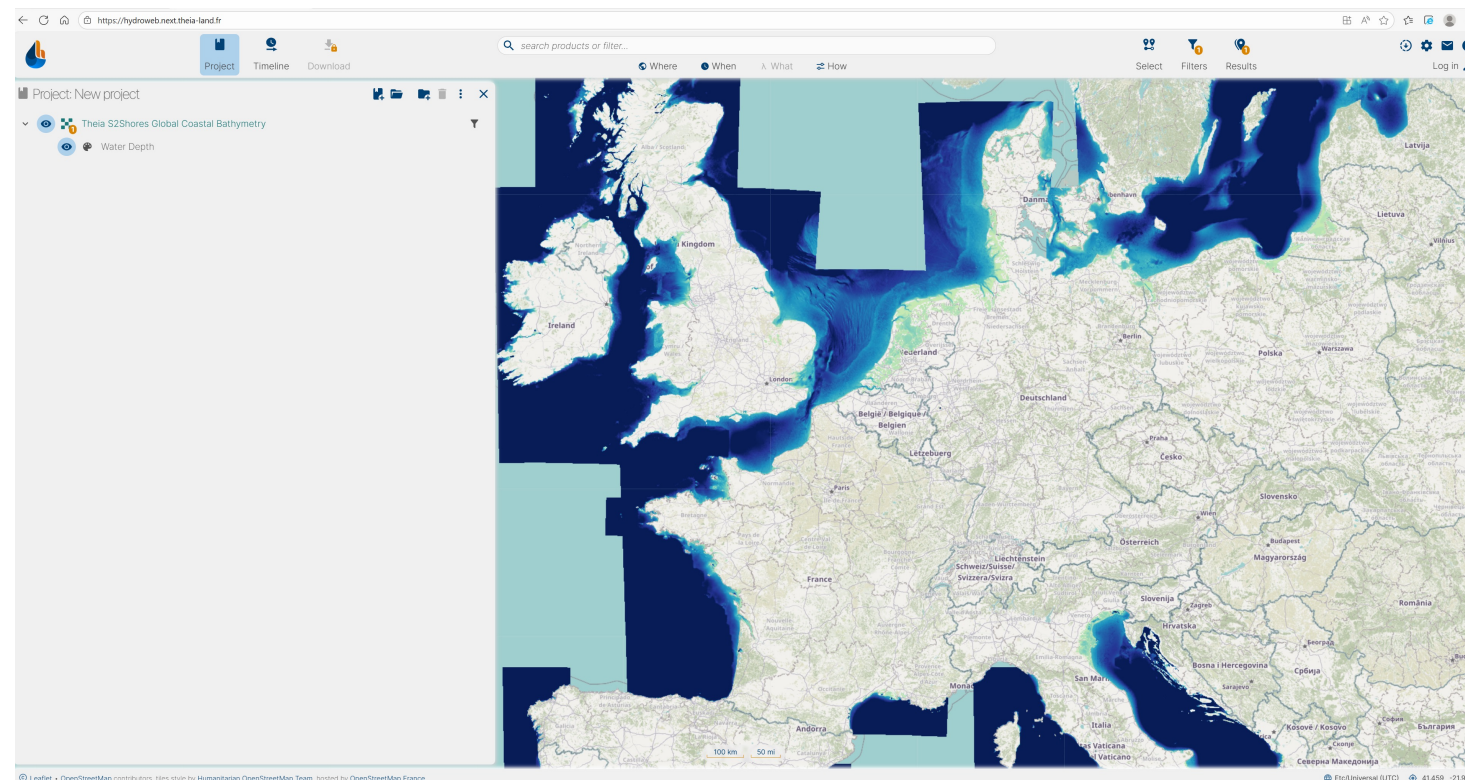
Nouveaux produits

Premier atlas de la bathymétrie côtière avec Sentinel-2

S2Shores pour estimer la profondeur, y compris en eaux troubles, jusque là inaccessibles aux méthodes optiques classiques

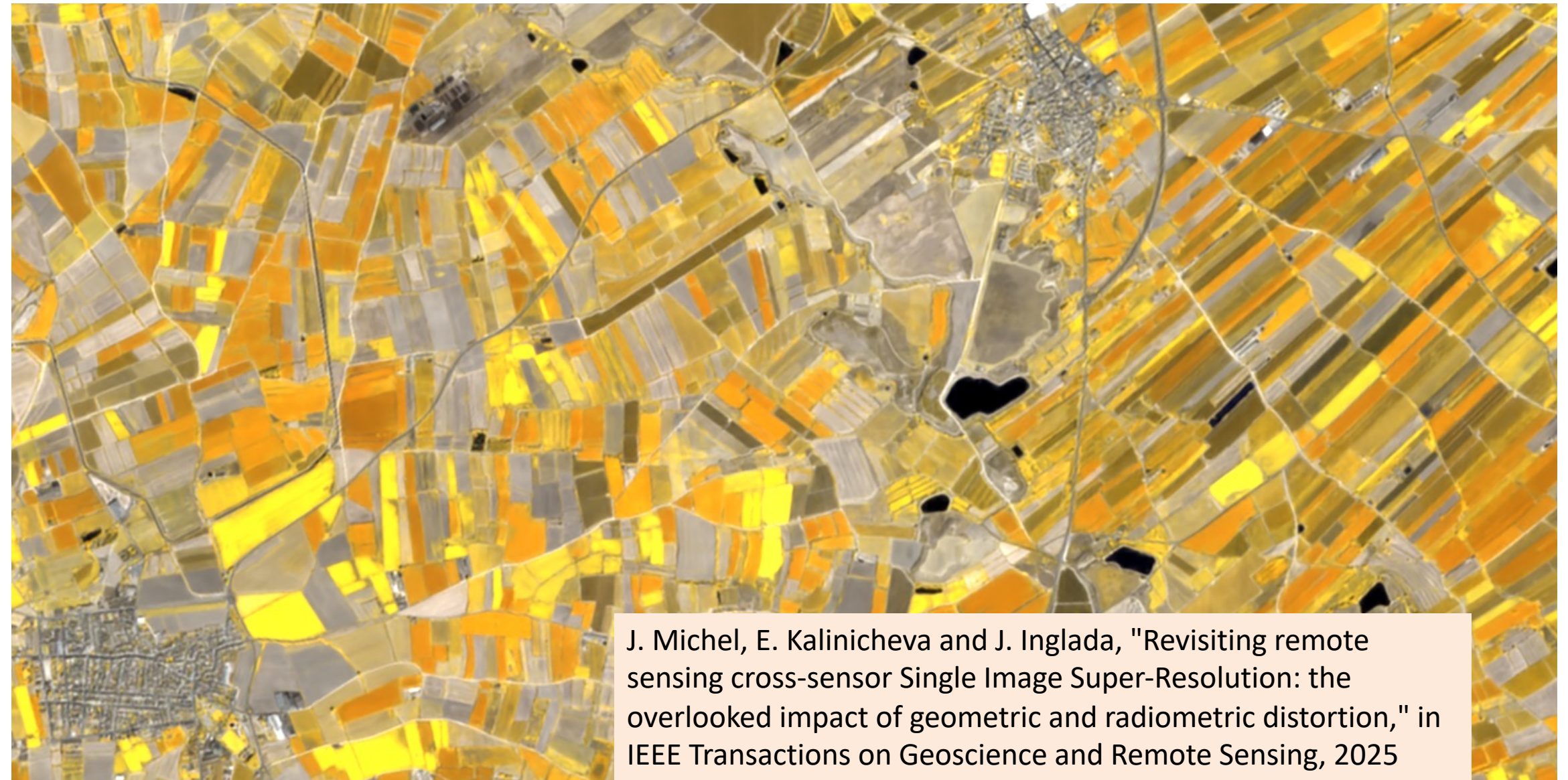
Disponible sur hydroweb.next

- Collaboration CNES, IRD/LEGOS et Shom, avec le soutien de l'ANR
- Traitement de plus d'un million d'images S2
- Profondeurs de 5 à 50 m, 1km de résolution
- Atlas qui révèle des structures à fines échelles comme des bancs de sable et des chenaux, importants pour la compréhension des phénomènes d'érosion littorale, la navigation, ou la circulation océanique



Super résolution de Sentinel-2 : toutes les bandes à 5 m

- Deep Learning, apprentissage avec VEN μ S (5m), bons résultats de validation, pas d'hallucination

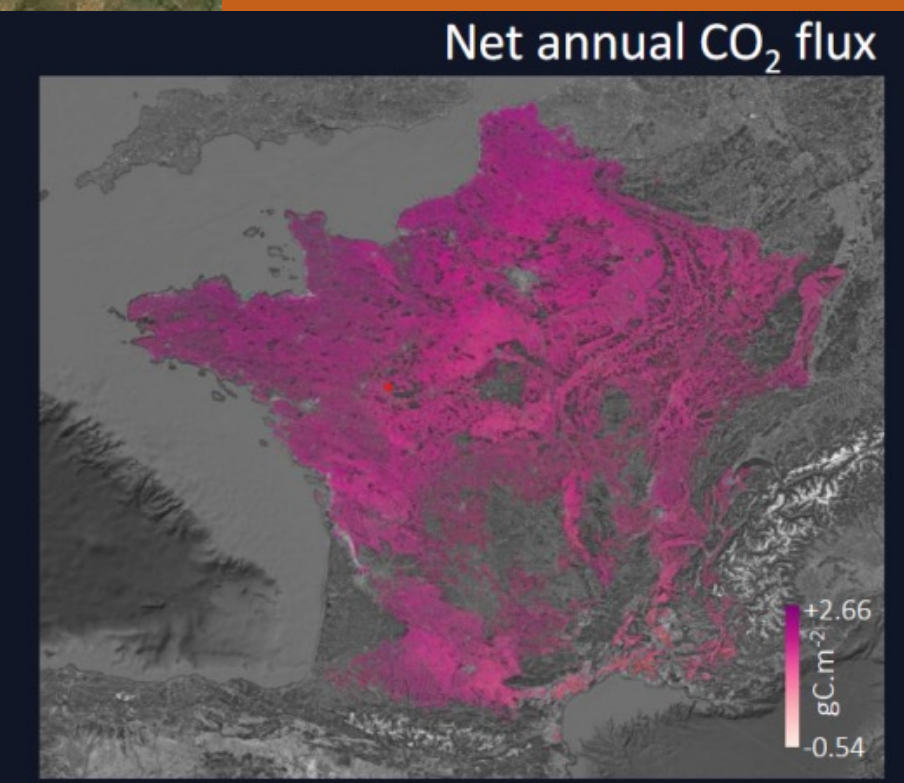
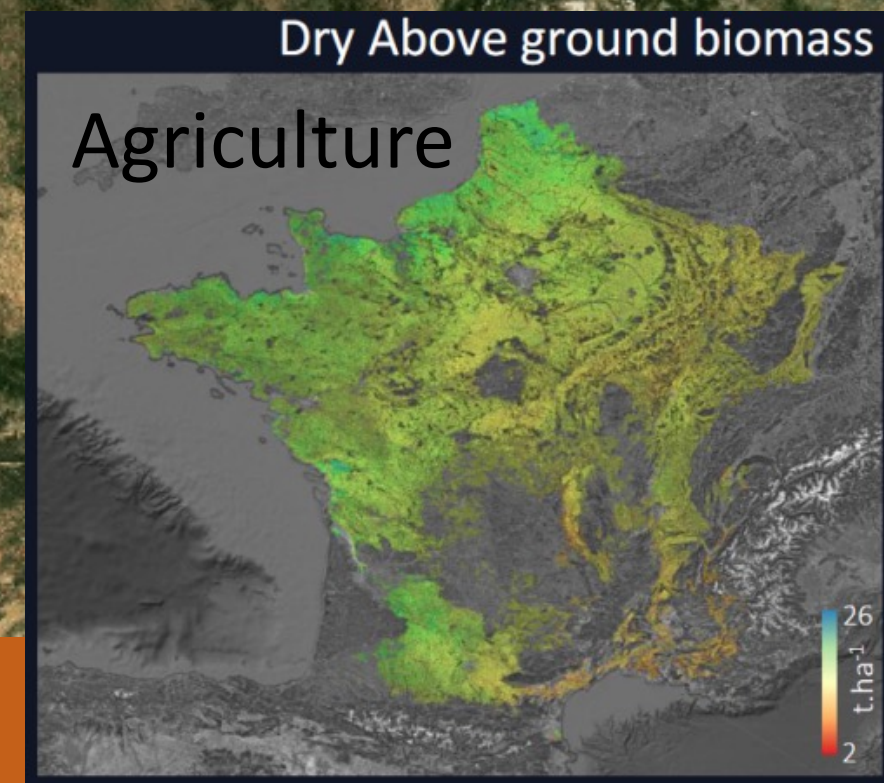
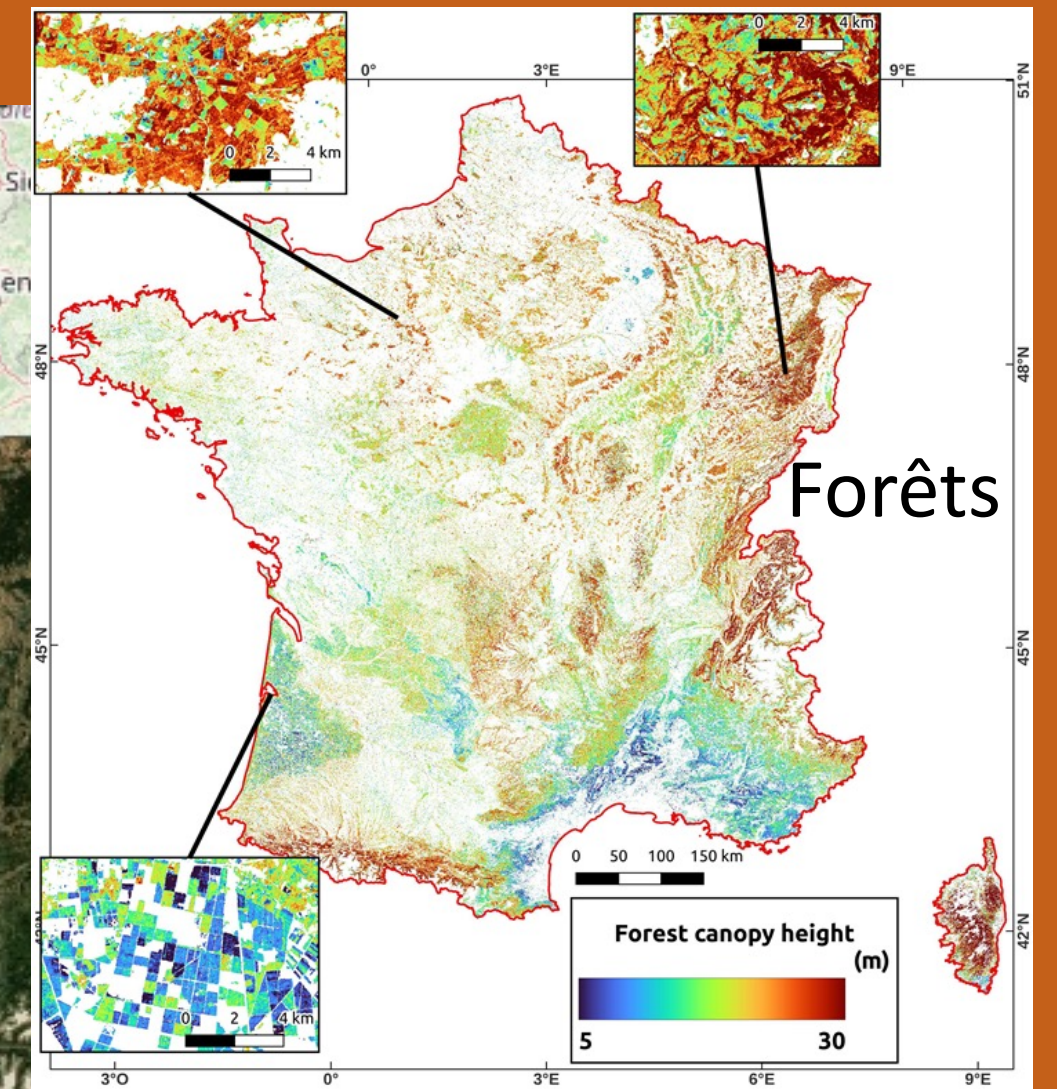
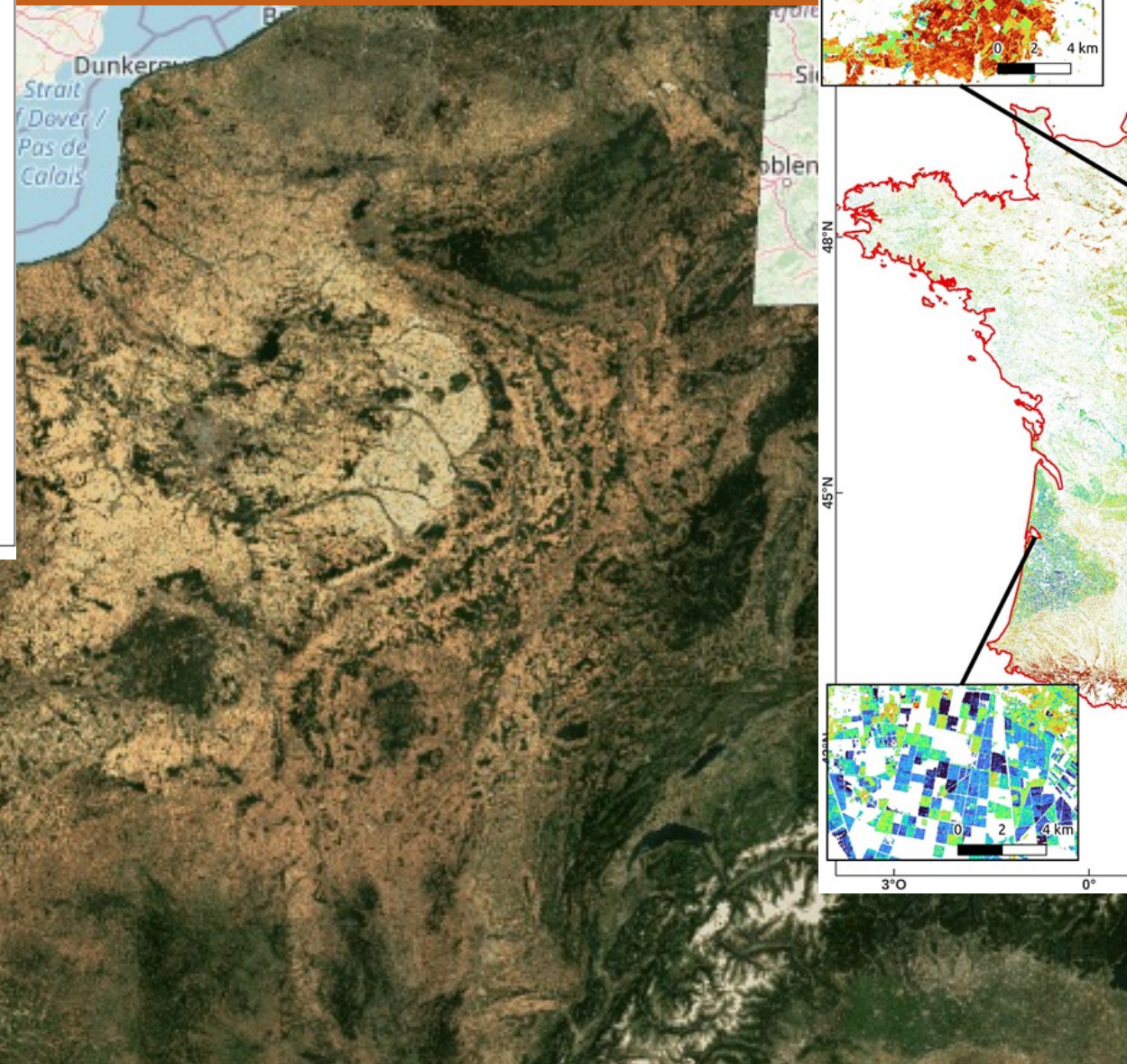
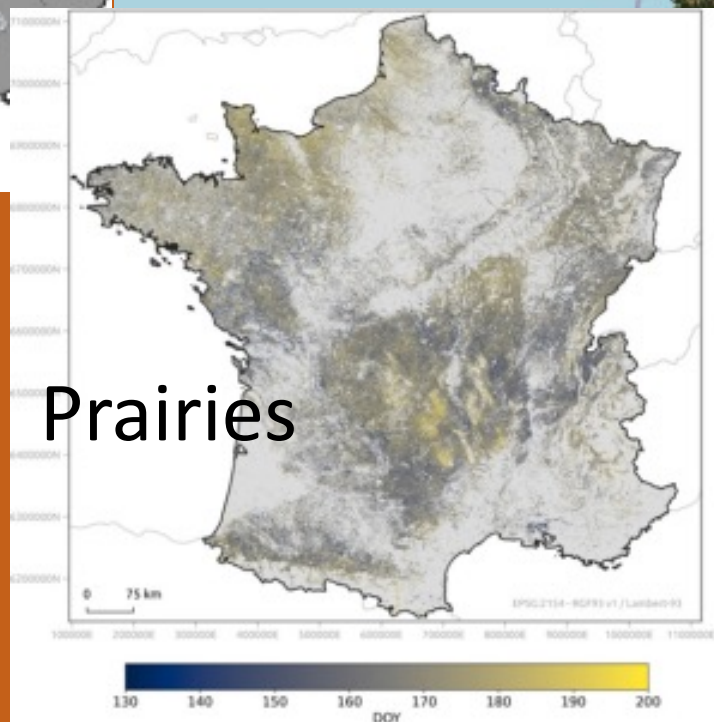
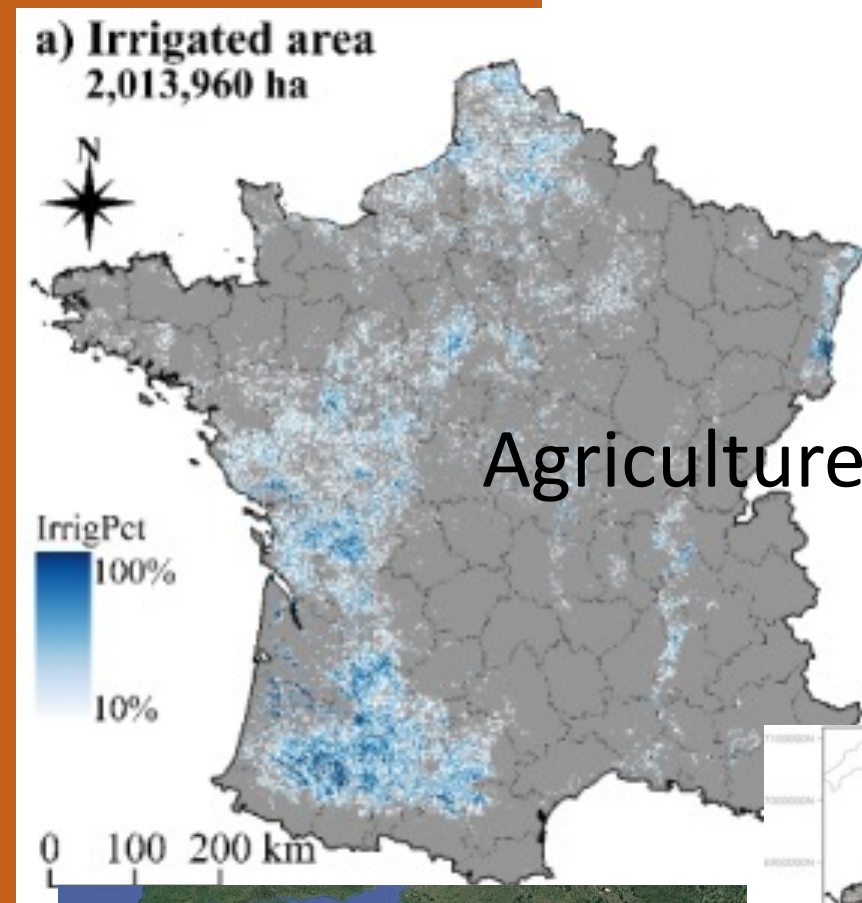
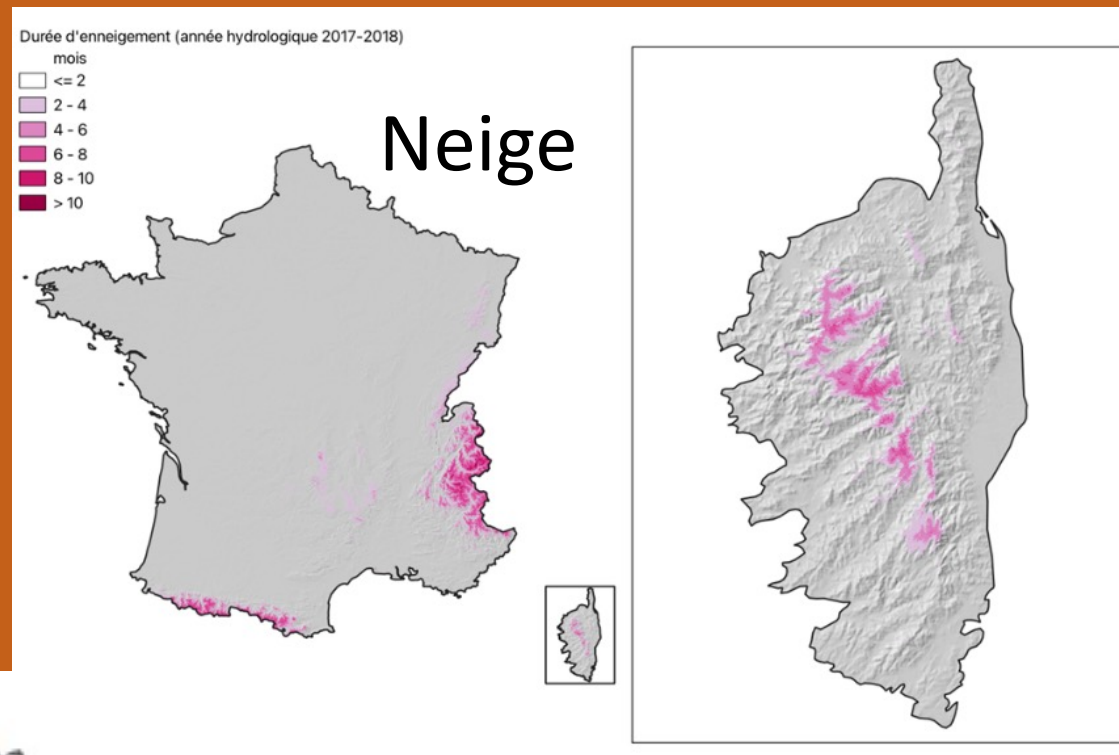


- Transfert en cours pour THEIA au CNES, en traitement à la demande sur GEODES
 - Attention : Volume x 6

Fusion de données LANDSAT - Sentinel-2

- Fusion par Deep Learning de :
 - Landsat 8 et 9 (30 m, 8j)
 - Sentinel 2 A et B (10 à 20m, 5j)
- En entrée :
 - 1 an de données par exemple (ici 2022)
- En sortie :
 - toutes les bandes,
 - tous les 10 jours (par exemple),
 - à la meilleure résolution (10 m)
 - sans nuages !
- Précision sur les réflectances :
 - 0.015 pour S2, quand Landsat est disponible le même jour
 - 0.025 à 0.045 si absence de données un mois sur deux
- Transfert à l'étude au CNES
 - Production à l'échelle de la France ?
- Référence
 - Julien Michel, Jordi Inglada, Temporal attention multi-resolution fusion of satellite image time-series, applied to Landsat-8/9 and Sentinel-2: all bands, any time, at best spatial resolution, Remote Sensing of Environment, 2026
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.115159>





Nouveaux produits Thématiques

- ✓ Les données présentes et à venir ont un fort potentiel
 - ✓ Des méthodes avancées sont disponibles, validées, produites à large échelle, par les chercheurs
 - ✗ Peu de productions de produits thématiques à l'échelle du territoire sur plusieurs années
-
- Les chercheurs doivent transférer leurs travaux pour entreprendre de nouvelles recherches
 - Leurs travaux passent rarement au pré-opérationnel ou à l'opérationnel
 - Peu de nouvelles productions à large échelle à THEIA depuis 2020 (BIOPHY, Surfwater, S1-Tiling, au CNES)
 - Des moyens financiers existent pour les applications environnementales :
 - Des moyens pour les satellites, les segments sol,
 - Des moyens pour la recherche, la maturation et la démonstration de services (nombreux)
 - Puis l'Etat espère que le service générera ses propres revenus
 - Nombreux échecs, pas toujours de débouché commercial
 - (c'est presque la règle générale sur nos activités de suivi de l'environnement)
 - Besoin de moyens et de personnel pour maintenir des productions sur 3 à 6 ans à l'échelle du territoire
 - Démonstration importante pour convaincre l'Europe (Copernicus)

Conclusions

- Le CNES continue d'investir pour fournir des produits de qualité au service de la communauté
 - Le CNES investit dans les variables ARD et descriptives de la surface, peu en extraction d'information (relais de la part des partenaires de THEIA)
 - Les budgets du CNES vont être réduits sur 2026-2028
 - Gros investissement de la France à l'ESA, en particulier Future EO et Copernicus
 - Rôle important de THEIA/DATA TERRA dans la démonstration à grande échelle

- Le volume de données est en forte augmentation, notamment avec Sentinel-expansion
- Quelles données sur le miroir Copernicus du CNES ?
 - Quelles missions Sentinel-expansion (LSTM ?), quelles zones d'intérêt ? (France uniquement ?)
 - Enquête sur les besoins en données de la communauté Française (dans GEODES ou dans les autres CDS de DATA TERRA)
 - <https://geodes.cnes.fr/vos-besoins-en-donnees-spatiales/>
 - Clôture 31 mars

- La Terre n'a jamais été autant observée qu'aujourd'hui, l'Eldorado est prévu pour 2030

- Une chance pour la science !